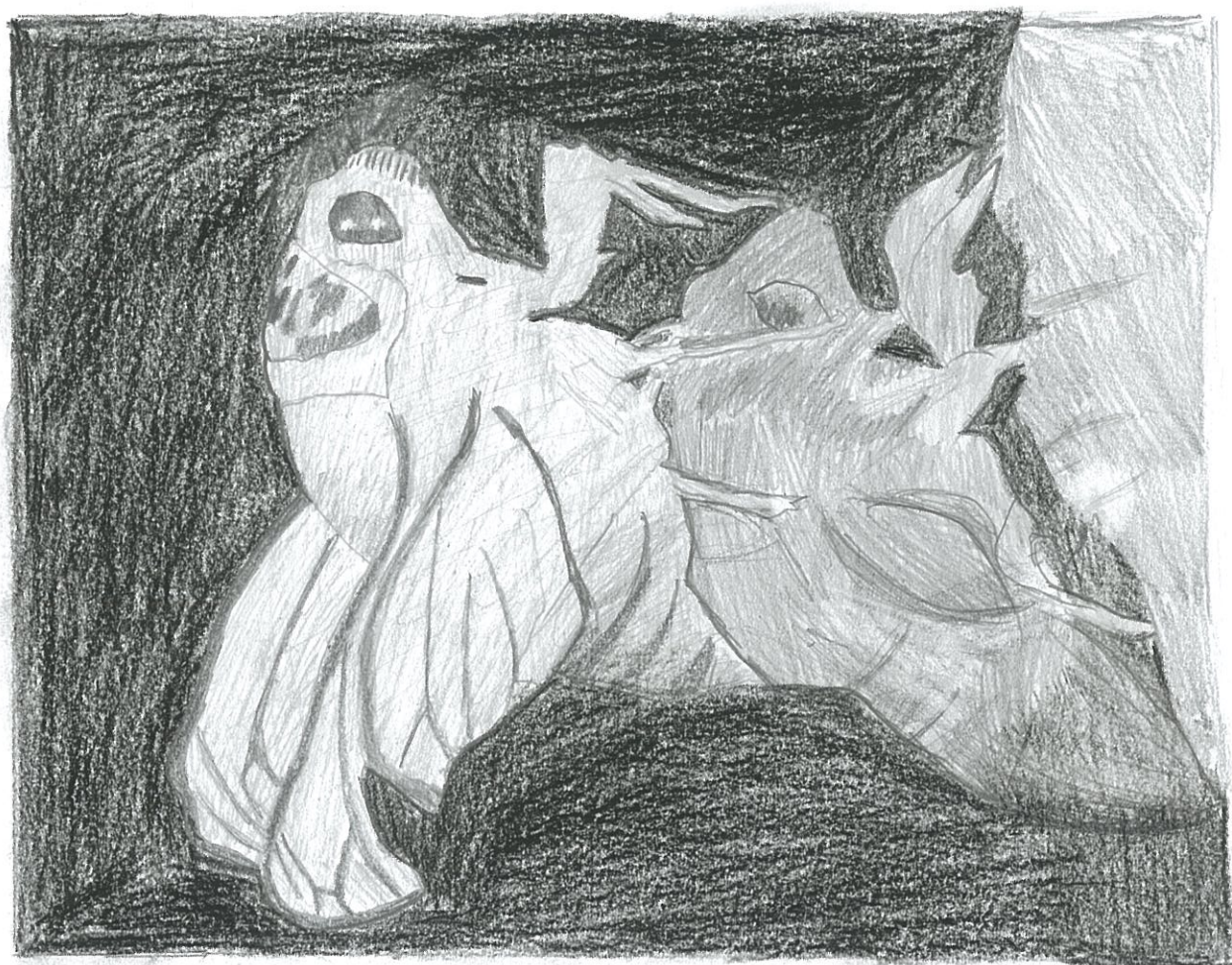


# セミの羽化のひみつ

生死をかける 30 分



錦林小学校 5年2組

清木 葵

## 研究のきっかけ

私は小学2年の時に、道を歩いていて、たまたま、木から落ちたアブラゼミの幼虫がありにおそわれているのを見つけた。かわいそうに思って家に連れて帰ると、おどろいたことに、真夜中に真っ白いセミが出てきて、みるみるうちに羽がのびて固くなった。それからずっと、羽化がどのように起こるのかをもっと知りたいと思ってきた。



そこで、今年の夏、セミの羽化をくわしく調べることにした。特に、羽化の際にどんなことが起こるのか、一体、どのようにして羽が大きくなって固くなり、飛行機のつばさのように整った形をした羽ができるのか（写真1）、というなぞにせまってみたいと思った。私は、「ファール昆虫記」(1)が好きだ。ファール先生は、観察だけではなく、いろいろな実験を考えてこん虫のなぞをつき止めた。私も、セミの羽のなぞにせまるために、いろいろな実験にちょう戦することにした。

## 研究の方法

まず、部屋の中の温度や明るさを変えることで、羽化を家で観察できるように工夫した。家の外では、夜おそく続けて観察をしたり、実験をしたりするのが難しいからだ。つかまえてきたセミのうち、羽化できないものを観察しているうちに、なぜ羽化できなかったのだろうかという疑問がわいてきた。もしかしたら、羽化できなかったセミを調べれば、羽化に何が大切か分かるのではないかと思った。

## 実験と結果

### 実験1：羽化には何が大切か？

つかまえてきた幼虫のうち、私の部屋の中で羽化するものは少なかった[7月26日 晴れ 7時30分(羽化率16.7%、3匹/18匹)]。クマゼミは、みんな元気で天じょうまで登り、羽化した。かべを登るうちに落ちる幼虫が多かった。全くかべを登れない幼虫も多くいた。落ちてしまったり、登れない幼虫は、羽化しなかった。それらの多くは、虫かごの中でけんかをしてけがをした幼虫だった。けがをしたセミが私の洋服にとまっているうちに、黒いシミができた(写真2矢印)。セミの血液はとう明だが、もれて時間がたつと黒くなることが分かった。



落ちてしまった幼虫は、指にとまらせて羽化を助けてあげた。幼虫は、からからでようとして、一生けん命、体を前後に「ブルブルッ」と小さきみにふるわせていた(写真3)。血液がたくさんでた幼虫は、体のふるわせかたが弱く、またふるわせる間かくも長く、途中までしか羽化できなかった。そこで羽化には血液が大切な役割をするのではないかと予測した。





うまく羽化できた幼虫を観察した。からから出てきた幼虫の羽はみるみるうちにのびて、そしてとう明になった（写真4-6）。調べてみると、血液が羽をのぼすと本（2）に書いてあったので、けがをし

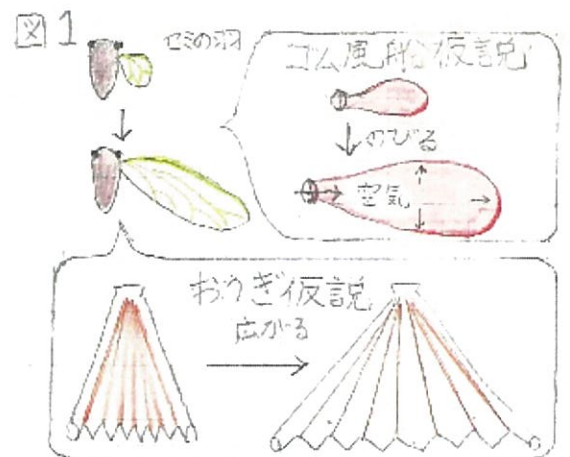
た幼虫は、もしかしたら、血液がもれてしまったために、体に力が入らなかったり、羽をのぼしたりできなくなるのかと考えた。

では、血液は一体どうやって羽を広げるのだろうか？身近にある「大きくなるもの」で予想してみた(図1)。

### 仮説1：セミの羽はどうやってのびる？

セミの羽は、血液の力で

1. ゴムのようにのびて広がる（ゴム風船仮説）。
2. おうぎのように折りたたんでいたものが広がる（おうぎ仮説）。

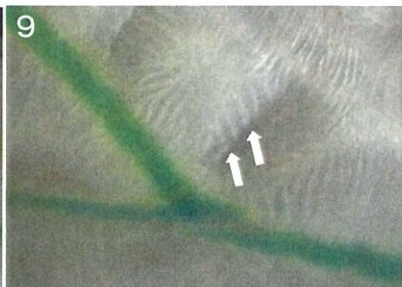


### 実験2：羽化直後のセミの羽はどうなっているか？

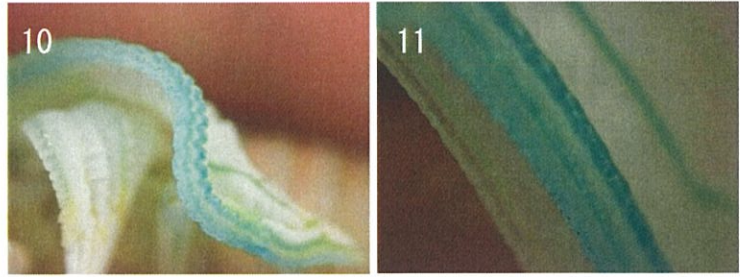
幼虫は、最初は部屋の中ではなかなか羽化してくれなかったが、けがをさせないようにし、また部屋の温度や明るさを工夫して(方法に記述)、たくさんのセミを家で羽化させることに成功した。

7月28日 晴れ 7時30分。羽化する幼虫がふえた [クマゼミ3匹(完全羽化3匹)100%、アブラゼミ20匹(完全羽化3匹15%、不完全羽化4匹20%、羽化なし13匹)]。そこで、羽がどのようにして広がるかを調べるために、広がる前の羽の構造をカメラのけんび鏡機能を使って観察してみた。

広がる前の羽は、とても小さくコンパクトになっていた(写真7)。小さくたたまれていた羽を少し広げると、たくさんのひだのようなものが見えた(写真8)。拡大してみると、ひとつのひだには、さらにたくさんの細かいひだのようなものがあった(写真9 矢印)。



緑の血管は、上から見ると一見まっすぐに見えた。しかし、羽のはしの緑の血管をよく見ると、血管も小さなひだになっていた(写真10)。のばすとまっすぐになった(写真11)。



## 結果と考察

この観察と実験から、羽には、ひだとひだの間にもっと小さいひだのようなものがある、2重に折りたたまれていることがわかった。手で気をつけて広げていくと、羽化したときの羽の大きさになった。血液がこの2重のひだを広げていく「おうぎ仮説」が正しいと思った。では、おうぎのような羽を本当に血液が広げるのだろうか。

**仮説2：血液が流れないと、羽は広がらないはずだ。**

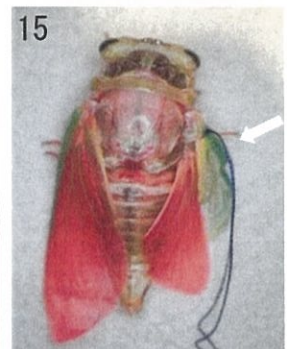
**実験3：血液が流れないようにして羽の広がり方を調べる。**

初めは血管を切って観察しようと思ったが、実験1でけがをした幼虫のように血液がもれてセミが死んでしまうと思った。そこで、羽を切らずに血管に血液が流れないようにする方法を考えた。

血液が本当に止まっているかを調べるために、血液に色をつけてみることにした。本などで調べてみると(3)、セミでは、心ぞうのかわりに静脈管が収縮することで血液が流れると書いてあった。幼虫の背中の静脈管が緑で見えやすく広くてやわらかい。針もさしやすいため(写真12矢印)、ここから色素を入れ、血液の流れを目で見て確かめられるようにした。せみの毒にならないように、食べに溶液(0.5mlの水に食べに用小さじ2はいの食べにを溶かしたもの)を、お父さんに手伝ってもらい背中から静脈管に注射してみた。赤い色がみるみるうちに広がっていき、血液は1分くらいであしや目のまわりなど体全体に広がっていった。

次に、羽化してすぐ羽が広がる前までに、血液が羽に流れないようにする方法を工夫した。5分くらいのうちに早く止めないといけないので大変だった。最初に前羽の根元をクリップではさんでみた(写真13)。しかしこの方法ではおさえる力が強すぎて血管がやぶれて血液が体の外にもれだし、うまくいかなかった。

その次に、前羽の根元を糸でしばってみた(写真14)。赤い色素が血管に流れないようにしばる強さを調節すると、前羽に赤い色素が行かなくなった(写真15矢印)。ちがいをみるために、後ろ羽はしばらなかった。



## 結果と考察

糸でしばった右側と、しばらなかった左側の羽を比べてみると、糸でしばった右側の前羽は、左側の前羽と比べて広がらなかった。しかし、糸でしばらなかった右側の後ろ羽は、左側の後ろ羽と同じように広がった。また、右側の羽同士を比べても、糸でしばった前羽は赤くならず広がらなかったが、しばらなかった後ろ羽は赤くなった。このことから、血液が流れることで、羽が広がることが確かめられた。では、血液が流れない時間と羽の広がり方に関係があるのだろうか。

## 実験 4 : 血液が羽を広げるタイムリミットがあるのか？

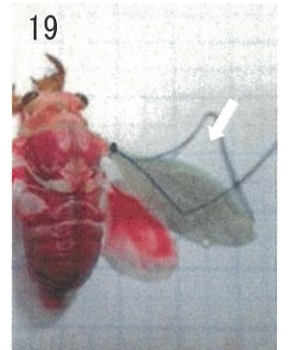
羽化してすぐにしばり、5 分後に糸をほどいたセミでは、しばらなかった左側の羽に比べて時間はかかったけれど、羽は最後まで広がった (写真 16 矢印)。30 分間しばっておいたセミでは、糸をほどいても羽は広がらなかった。



## 結果と考察

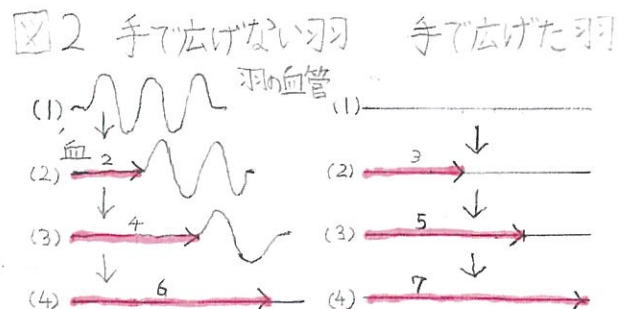
このことから、羽が広がるためには、かぎられた時間内に血液が羽の中に広がる必要があることがわかった。30 分間しばっておいたセミ (写真 17) と翌日のようす (写真 18)。

しかし、ここで問題がおこった。糸でしばり、血液が回らず羽が赤くならなかったのに、羽が広がったセミが 1 匹でてきたのだ (写真 19)。観察しているうちにあやまって広げてしまったらしい。逆に、あらかじめ羽を広げてやったら血液の回り方はどうなるのだろうかと考えた。血液と羽ののび方の関係をもう一度くわしく調べることにした。



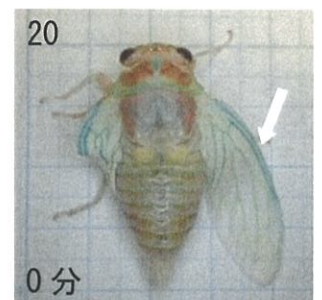
## 仮説 3 : 羽ののびと血液の広がりと同じ速さだ。

血液が 2 重のひだをのぼしていくならば、羽の広がり方と、血液の広がり方が、同じように進んでいくはずだと仮説をたてた (仮説 3、図 2 左)。



## 実験 5 : 羽をのばせば、血液は速く流れるはずだ !

仮説 3 から、手であらかじめ羽をのばしてやると、血液は、羽をのばさなくてもよいので、羽全体に早く広がると予想した (仮説 3、図 2 右)。そこで、羽化してすぐに、右側の折りたたまれている羽をそっと指でのばしてから (写真 20 矢印)、食べに溶液を注射してみた。



3分後、予想したとおり、広げた羽の方が早く赤くなった(写真 21 矢印)。しかし、9分後、びっくりしたことに、のばさなかった左側の羽は、広がる前に、血液が太い血管の羽の先まで行っていた(写真 22 矢印)。しかし、はじめから羽をのばした右側の羽では、血液は羽の先まで流れなかった。



11分後、同じところ(写真 23)を拡大してみると、のばさなかった方は、羽全体で太い血管のまわりにも(写真 24 矢印)赤が広がっていた。のばした方は、太い血管のまわりは、はねの下半分ではほとんど赤くなっていなかった。



13分後、のばさなかった方は、羽全体が赤くなった。のばした方の羽は、43分後でもまだ全部赤くなっていなかった(写真 25 矢印)。次の朝、時間はかかったけれど右側の羽も全体が赤くなっていましたので(写真 26)、手で羽をのばしたために、血管がこわれてしまい赤くならなかったのではないと思った。



## 考察

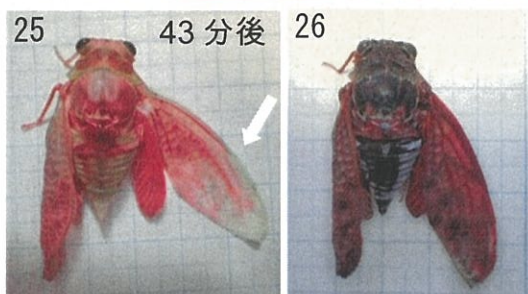
血液は、羽を広げるために、

(1) 羽が広がらないうちに、先に血液を太い血管のはしまで行きわたらせる。

(2) 次に、中くらいの血管にも血液が入り、血管といっしょに羽も広がり始める。

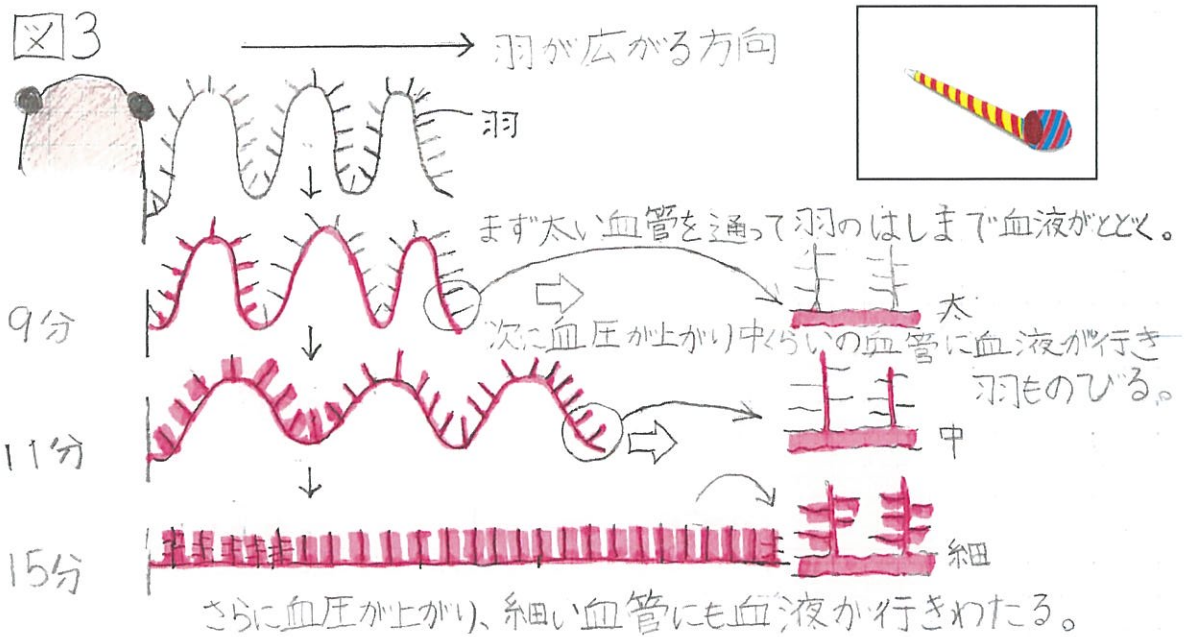
(3) さらに血液を細い血管まで満たすことによって、羽を最後まで広げる。

一方、羽が先に広がってしまうと、血液が行きわたるのにかえって時間がかかってしまう(図3)。



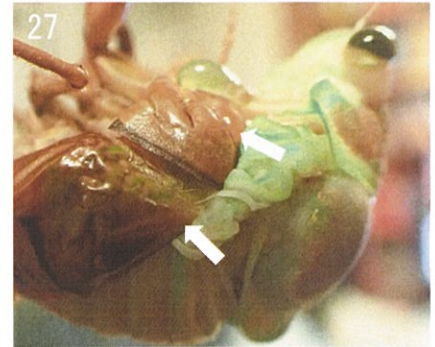
なぜ、羽を広げながらでないと、羽全体に早く血液が行きわたらないのだろうか。私は、ふきもどし(図3右上)に似ているのかもしれないと思った。ふきもどしに息をふきこむと、圧力は少し上がるけれど、ふきもどしがのびるので、それ以上圧力は上がらない。ふきもどしがのびなくなっても息をふきこみ続けると、こんどは圧力がもっと上がる。同じように、太い血管が折りたたまれていると、少しの血液で血圧が少し上がるけれども、太い血管がのびるので、それ以上血圧は上がりにくい。太い血管が最後まで伸びてから血液がふえると、血圧がもっと上がって細い血管まで血液が行きわたる。これに対して、太い血管が最初からのびていると、血管のいちばん先まで血液を満たすまで血圧は上がりにくい。くわしいしくみについて、これからも調べていきたい。

この実験から、羽を広げながら同時に、血管全体に速く血液が行きわたらせることは、羽を速く確実に広げるためにとっても大切なことがわかった。羽が固くなる前に、羽を広げてしまわないとうまく飛ぶことができなかったからだ。



では、なぜ羽はからの中では広がらないのだろうか？

実験5の結果を考えながら、羽化し始めた幼虫をもう一度よく観察してみると、羽は、折りたたまれ、羽の形のかたいからにおさえつけられていることに気がついた。羽化が始まって、羽はまだ背中の割れ目のからにおさえられていた(写真27矢印)。



この観察の結果から、羽はからの中では折りたたまれていて血液が流れなくなっているためにのびないが、幼虫がからを破り羽化して一気に血液が流れることで、おし広げられながらのびるのだと思った。

#### 仮説4：ひっぱれば、羽は広がるはずだ！

実験5の考察が正しいならば、羽化できなかつたために血液がうまく回らず広がらなかった幼虫の羽も、ひっぱってやれば広がるはずだと考えた。

#### 実験6：羽はからの中でどうなっているか？

羽が幼虫の体の中でどうなっているのか、羽化が途中で止まってしまった幼虫の体が完全に固くなる前に、羽のからを外してくわしく調べた。羽を実際にピンセットでのばしてみた。からをはずした羽の部分(写真28)折りたたまれた羽(写真29)。



## 結果

前羽はからの中で 1.6 cm におりたたまれ、ひっぱると 2.8 cm とよくのびた。後ろ羽は 1 cm から 1.2 cm とあまりのびなかった。実験 2 で見たのと同じように、小さくおりたたまれている感じだった。羽にはだん力があり、ピンセットをはなすと、ゴムのような勢いでもとの形にもどり、いくらひっぱっても羽化したときの羽の大きさにはならなかった。

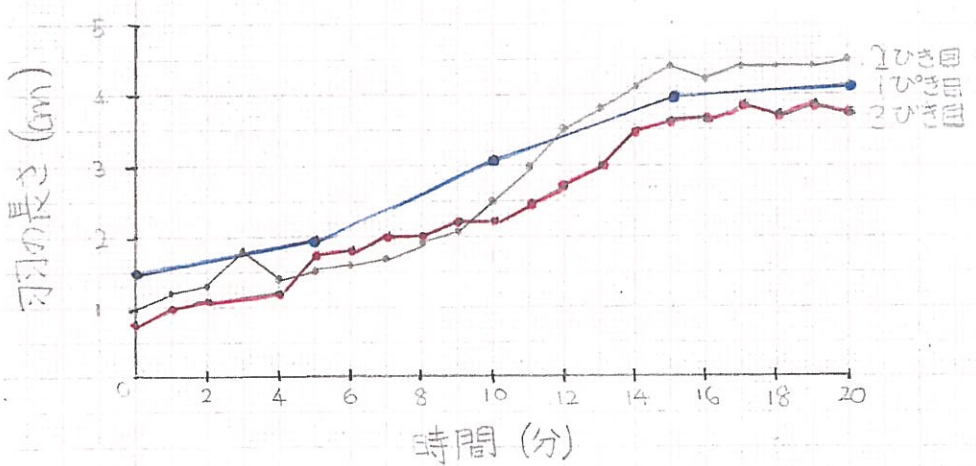
また、羽化できずに体が固くなった幼虫は、からの中でまだ生きていた。からを外すと一生けん命羽を動かしてかわいそうだったが、羽は広がらなかった。体が固くなる前に、羽を早く、きちんとした形に広げることは、セミにとって生死を分けることだと思った。

## 実験 7：羽はどれくらいの時間で広がるのか？

実験 6 で、セミは、体が固くなる前に羽を広げる必要があることが分かった。そこで、羽が広がるのにかかる時間を調べてみた。[8 月 1 日 くもり 21°C アブラゼミ 18 匹 (羽化 7 匹 38.9%) クマゼミ 0 匹]

## 結果

調べた 3 ひきの羽は 15 分ぐらいの短い時間で広がった (図 4)。自然にのびた羽は 4 cm 前後になった。



アブラゼミでも同じように血液が流れないようにすると、羽は広がらなかった。アブラゼミはクマゼミとちがって、羽が広がった後、茶色になっていく。この羽の色も血液に運ばれてくるのか調べてみることにした (写真 30)。おどろいたことに、しばらく全く広がらなかった羽も、しばらくなかった羽と同じように茶色になった (写真 31)。アブラゼミの羽の色は、血液に運ばれてくるのではないことが分かった。



## 結論

羽化する時、背中の中から割れそれまでかたいからにしめつけられていた羽のまわりがゆるみ、血液が流れこむことで羽が広がり始める。からの中にいる時から羽が広がってしまうと、からから出てくるときに傷ついたり、じゃまになったりするからだと思う。

セミの羽は、血液の力でおうぎのように広がっていく。羽が広がる前に、まず、少ない血液を一気に羽全体の太い血管に行きわたらせる。いったん羽全体に行きわたった血液は、さらに中くらいの血管から細い血管へと広がっていく。こうして、羽全体に血液を行きわたらせていくことで、15 分くらいで確実に羽全体をまんべんなく広げることが分かった。少しでも羽がうまく広がらないとうまく飛ぶことができない。けがをして血液がもれたり、羽が先に広がったりして羽を広げるのに 30 分以上の時間がかかると、羽はうまく広がらない。羽を作り上げるためには、血液の力で 30 分以内に羽を広げ、固くしなくてはならないからだ。

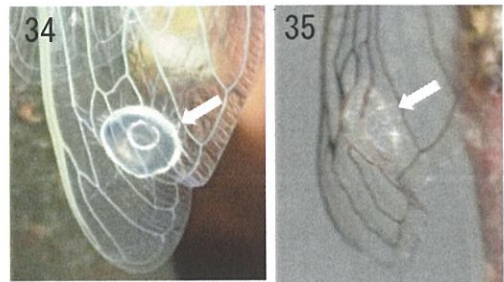
セミはからから出て、羽をのびし始めてから 30 分の間に羽をきちんとした形に広げなくては生きていけない。セミにとって、卵から生まれて歌をうたい一生を終える 5 年間の中で、この羽を広げる 30 分は、生死をかけた一番危険でスリルのある時間なのだと思う。

## 新たな発見

羽化には 2 種類のしかたがある。①あしが先に抜ける、②しっぽが先に抜ける。あしが先に抜ける方が成功率が高い。

11:30 が最後の羽化だった。羽化できない幼虫を 6 匹調べてみたところ、すべて体が固くなっていた。土から出てきて、3 時間くらいで体が固くなってしまい、羽化できなくなると思った。

うまく羽化ができたのになぜか羽の一ヶ所からとう明な血液がもれていたセミが何匹かいた(写真 34 矢印)。こんなにたくさんの血液が羽には流れているのだ。朝になったら、羽がもりあがって飛べなくなっていた(写真 35 矢印)。血管のほんの一部でもこわれてしまうと、命取りになってしまうのだとおどろいた。



## 方法（工夫）

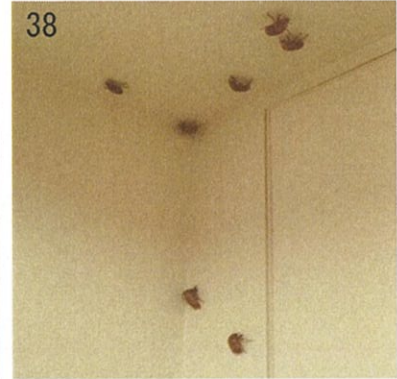
7月27日 晴れ 7時30分

(1) つかまえた幼虫が、虫かごの中でけんかをしてあしが折れないようにするために、枝の入ったかご(写真 36)を作り幼虫をとませた。幼虫が逃げないように、ビニールぶくろをかぶせた。つかまえた 24 匹の幼虫のうち、あしにけがした幼虫はいなかった。8 匹羽化した(クマゼミ 6 匹/6 匹 100%、アブラゼミ 2 匹/16 匹 12.5%)。アブラゼミは、けがをしていなくても、かべを登れない幼虫が多かった。クマゼミは、みんな天じょうまで登ったので、アブラゼミよりも体力があるのだと思った。

(2) 試しに、クーラーのきいていない暗い部屋に連れて行くと、幼虫の動きが活発に

なったので、明るさと温度が大切なことがわかった。

(3) また、高いところで羽化した幼虫が多かった。からから出てくる姿勢が取りやすいからだと思った(写真4)。そこで、枝を拾ってきて登らせることにした(写真37,38)。



研究期間：2ヶ月

採集：20日間 7月17日～8月16日

採集幼虫数 137匹

採取場所と時間: 京都市 鴨川と疏水川岸。糺の森近辺。午後6時30分～9時ごろ。

採集方法

持って行くもの：かい中電灯 枝の入ったかご あみ。7時から8時の間に約1mまで木に登った幼虫を集めた。つかまえた幼虫が羽化を始める前に家にもどった。



家に帰ったら、暗い部屋に用意しておいた枝にとまらせ、数を数えた。

実験道具：ピンセット、はさみ、注射器(25ゲージ針)、食べに、ピン、木綿糸、ストップウォッチ、カメラ(けんび鏡機能)



羽化したセミにはえさをあげて、飛べるものは放してあげた。死んだせみは土にうめてあげた。

## 感想

長い間土の中で過ごしたセミの幼虫が地上に出てきて、羽化し、飛べるようになるのは、本当にたいへんなことだと思った。

私が幼虫を集めている時に、地上に出てきた幼虫が登っている木の幹にかまきりが待ちぶせをしていることもあった。セミの幼虫は、まず、敵をさけながら木に登り切り、安全に羽化できる場所にたどりつかなければならない。そして、いったん羽化を始めたら、3時間くらいのうちからを破って出てこなければ、体が固くなって出てこられなくなってしまう。私は、観察している間に、羽化できなかったたくさんの幼虫をみた。

羽化後、30分以内に羽をきちんとした形にのぼすことも、たいへんなことだと分かった。実験したセミは羽の形が変になってしまい、次の朝、うまく飛べなかった。羽を広げる途中で、少しでも羽に血液がたまったり、水でぬれたものも、羽がきちんとした形に広がらず、うまく飛べなかった。セミはこのことを知っているように、雨のふりそうな日には、穴から出てくる幼虫が少なかった。セミの幼虫をつかまえるのは、手をはらいのけられるのでたいへんだ。幼虫も逃げようとして必死だ。クマゼミの幼虫は7月の後半から見つけられなくなり、アブラゼミは羽化率があまり高くなかった。セミの羽化は同じくらいの時間に起こり、一匹ずつ手で出してやるので手が足りなくなった。そして一度に何匹も観察や実験をするのも難しかった。でも、血液が体中をあんなに速く広がって行くことはおどろきだった。予想とは正反対だったけれど、羽が折りたたまれていることで、逆に血液がまんべんなく広がるしくみが分かって本当にうれしかった。

今まで私は、楽しそうに鳴いているセミたちをなにげなく見ていた。でもこの研究を通して、元気に鳴いたり飛んだりしているセミたちは、たくさんの困難を乗り越えることができた数少ないセミたちだと気づいた。からからでてこられなかった幼虫たちも、あきらめずにずっと体をふるわせていたのがけなげだった。羽をきちんとのぼして飛べるようになるための30分は、生死をかけた最後の戦いなのだ。楽しそうに鳴いているセミたちに「本当にがんばったね」と声をかけてあげたい。



### 参考にした本

- (1) 「ファーブル昆虫記」 奥本大三郎 訳 集英社
- (2) 「科学のアルバム セミの一生」 佐藤有恒・橋本洽二 あかね書房
- (3) 小学館の図鑑 NEO 「昆虫」 小学館